

## ANALISIS PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DAS TONDANO, SULAWESI UTARA SELAMA PERIODE TAHUN 2002 DAN 2015

*Landcover Change Analysis of the Tondano Watershed, North Sulawesi during the period of 2002 and 2015*

Wiske Rotinsulu<sup>a</sup>, Hengky Walangitan<sup>a</sup>, Afandi Ahmad<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Fakultas Pertanian Unsrat, Manado 95115—wiske\_rotinsulu@yahoo.com

<sup>b</sup>Pacific Institute for Sustainable Development Manado

**Abstract.** Monitoring land cover change is important to be done in order to understand changing mechanism and to model impacts of the change to environment and ecosystem in different scale. Research on change detection of the Tondano watershed for the period of 1989-1999 showed that the land cover has changed due to agricultural activity and urbanization (Prenzel, et al, 2006). Land cover change of the Tondano Watershed contributed to the flooding and landslide disasters in Minahasa and Manado in the early of 2014. This research was conducted to compare land cover of the Tondano Watershed between the period of 2002 and 2015 using remote sensing data and Geographical Information System (GIS). Change detection method, post classification comparison was used to gather information on land cover change in the Tondano Watershed. Results showed that there was a significant change in the land cover within thirteen years. There was a decrease of forest, paddy field and volcano areas and an increase of agriculture, residential and water body areas. Forest has been converted to dry land agriculture; paddy field area has been converted to agriculture and residential areas. An increase of residential area was caused by conversion of agricultural and paddy field areas located nearby Manado City.

**Keywords:** Geographical Information System, land cover change, post classification, remote sensing.

(Diterima: 04-05-2017; Disetujui: 27-09-2017)

### 1. Pendahuluan

Perubahan tutupan lahan menjadi salah satu perhatian utama dalam monitoring lingkungan. Pemantauan perubahan tutupan lahan penting dilakukan untuk memahami mekanisme perubahan dan modeling dampak perubahan bagi lingkungan dan ekosistemnya pada skala yang berbeda (William *et al.*, 1994).

Informasi tutupan lahan yang up-to-date dibutuhkan untuk para pengambil kebijakan atau pemangku kepentingan terkait untuk pengelolaan sumber daya lahan yang berkelanjutan. Metode umum yang digunakan untuk mendapatkan informasi tutupan lahan yaitu dengan survey lapang dan menggunakan data penginderaan jauh. Masalah yang dihadapi dengan monitoring perubahan berdasarkan survey lapang adalah luasnya wilayah kajian, lamanya waktu dan besarnya biaya survey. Akibatnya monitoring yang dilakukan tidak efektif karena tidak dapat mengikuti lajunya perubahan tutupan lahan terutama di wilayah tropis. Teknologi penginderaan jauh menyediakan data tutupan lahan yang up-to-date, berkualitas, efisien dan relatif murah dan dengan cakupan wilayah luas untuk upaya inventarisasi dan monitoring perubahan tutupan lahan secara efektif (Jensen, 2007). Food and Agriculture Organization (FAO) mengadopsi telah teknologi penginderaan jauh dalam melakukan Forest Resources Assessment sejak tahun 1990an (FAO, 2007b).

Monitoring perubahan tutupan lahan merupakan salah satu aplikasi utama teknologi deteksi perubahan (*change detection*) penginderaan jauh (Lu *et al.*, 2004). Deteksi perubahan adalah sebuah proses untuk mengidentifikasi perbedaan keberadaan suatu obyek atau fenomena yang diamati pada waktu yang berbeda (Lu *et al.*, 2004). Deteksi perubahan dengan teknologi penginderaan jauh diaplikasikan dengan membandingkan citra multi-temporal dalam periode waktu tertentu menggunakan algoritme deteksi perubahan yang spesifik. Karena analisis perubahan tutupan lahan ini membutuhkan pengambilan data yang repetitif, citra penginderaan jauh yang berasal dari Enhanced Thematic Mapper/Thematic Mapper (ETM/TM), Satellite Probatoire d'Observation de la Terre (SPOT), radar dan Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) menjadi sumber data utama untuk analisis dalam beberapa dekade terakhir (Lu *et al.*, 2004).

Metode *change detection* dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu: (1) metode deteksi berdasarkan informasi binari *change/no-change*, misalnya menggunakan *image differencing*, *image rationing*, indeks vegetasi, dan *Principle Component Analysis* (PCA); dan (2) metode deteksi perubahan '*from-to*' misalnya dengan metode perbandingan paska klasifikasi (*post-classification comparison*) dan *hybrid change detection* (Lu *et al.*, 2004). Metode deteksi '*from-to*', hasilnya kebanyakan tergantung pada akurasi klasifikasi citra yang dilakukan (Jensen, 2007). Dengan kata lain, eror dalam klasifikasi dari masing-

masing citra yang berbeda waktu pengambilan mempengaruhi akurasi hasil deteksi perubahan. Hal yang harus diperhatikan dan dilakukan adalah melakukan interpretasi citra dengan tingkat keakurasian tinggi untuk setiap citra. Untuk itu, diperlukan juga data lapangan (*ground data*) yang representatif bagi setiap kategori kelas lahan. Perbandingan paska klasifikasi atau delta classification merupakan ekstraksi perubahan informasi “*from-to*” (informasi tematik atau kategorial) yang didasarkan overlay citra berbeda waktu pengambilan yang telah diklasifikasi/diinterpretasi (Jensen, 2007). Keakurasian hasil analisis sangat tergantung pada keakurasian hasil klasifikasi/interpretasi citra.

Deteksi perubahan tutupan lahan menggunakan dengan data hasil klasifikasi terbimbing dengan klasifikasi *maximum likelihood* paling sering digunakan karena dapat mendeteksi perubahan lahan dengan cepat dan cukup akurat. Namun, hasil penelitian ini menemukan adanya kekurangan berupa kesalahan klasifikasi (*miss-classification*). Hal ini dapat disebabkan oleh fenomena *salt and pepper* yaitu jika piksel berada di luar area spesifik atau diantara area yang tumpang tindih (memiliki kemiripan) ketika proses klasifikasi berlangsung (Whiteside dan Ahmad 2005; Duro *et al.*, 2012).

Berbagai penelitian telah dilakukan dengan menggunakan metode ini diantaranya oleh Rymasheuskaya (2007) membandingkan metode post-classification comparison dengan image differencing untuk mempelajari perubahan tutupan lahan di wilayah Utara Belarus. Hasil yang diperoleh adalah metode image differencing memiliki tingkat keakurasian yang lebih tinggi daripada metode post-classification comparison. Penelitian yang dilakukan oleh Peiman (2011) menyimpulkan metode post classification memberikan informasi perubahan “*from-to*” dan transformasi tipe landscape dan area yang efisien. Data penginderaan jauh berupa citra satelit merupakan salah satu data yang sering digunakan dalam aplikasi SIG. Wijaya (2015) menggunakan data citra dan GIS untuk mendeteksi perubahan penggunaan lahan di wilayah Metropolitan Bandung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan ekspansi daerah perkotaan. Pemanfaatan lahan permukiman semakin meningkat, sedangkan peruntukan lahan hutan semakin berkurang. Hal menarik adalah adanya peningkatan peruntukan lahan industri dan komersial yang mengindikasikan bahwa telah terjadi perubahan alih fungsi lahan dari yang tidak terbangun menjadi lahan terbangun, serta pemekaran daerah perkotaan ke daerah sekitarnya.

Penelitian ini difokuskan di wilayah DAS Tondano, Provinsi Sulawesi Utara. Permasalahan penting di DAS Tondano adalah penurunan kualitas dan kuantitas air Danau Tondano, kecilnya luas kawasan hutan, dominasi tanaman cengkeh dan kelapa dalam penggunaan lahan, terjadinya banjir, sedimentasi pada badan-badan air, usaha tani yang belum memperhatikan kaidah-kaidah konservasi tanah, dan perambahan hutan yang berkelanjutan. Tingkat kerusakan lingkungan di DAS Tondano sangat parah

dan memprihatinkan, Tondano dikategorikan sebagai salah satu dari 60 DAS Prioritas I di Indonesia.

Studi perubahan lahan periode waktu 1990 dan 1999 di wilayah DAS Tondano, Sulawesi Utara telah dilakukan oleh Prenzel *et al.* (2006) dengan menggunakan hybrid change method oleh Jensen (2007). Metode hybrid ini berhasil mengidentifikasi perubahan yang terjadi dalam kurun waktu 10 tahun. Perubahan yang terjadi selama kurun waktu tersebut adalah sekitar 58%, kebanyakan perubahan tersebut disebabkan oleh faktor antropogenik antara lain kegiatan bidang pertanian dan perkebunan dan urbanisasi. Konversi lahan hutan ke pertanian, dan pertanian ke urban/pemukiman dapat mengancam kelangsungan ekosistem dan manusia yang mendiami wilayah tersebut. Informasi perubahan tersebut seharusnya menjadi ‘peringatan’ atau alert bagi pengambil keputusan untuk melaksanakan upaya-upaya perbaikan lingkungan, perbaikan wilayah hulu DAS untuk mencegah terjadinya bencana longsor dan banjir di musim penghujan atau cuaca ekstrim akibat perubahan iklim. Perubahan tutupan lahan di wilayah DAS Tondano telah berkontribusi terhadap kejadian bencana longsor dan banjir bandang di wilayah Minahasa dan Manado di awal tahun 2014. Monitoring perubahan perlu dilakukan dan dilanjutkan untuk mengidentifikasi perubahan lingkungan dan penyebabnya agar pengelolaan sumberdaya alam yang berkelanjutan dan upaya mitigasi. Informasi tutupan lahan di wilayah DAS Tondano di tahun 2002 dan tutupan lahan tahun terkini 2015 telah diperoleh melalui penelitian yang dilaksanakan Rotinsulu dan Walangitan (2015).

Penelitian ini bertujuan mendeteksi perubahan tutupan lahan tahun 2002 dan tahun 2015 dengan menggunakan data penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis. .

## 2. Metode

### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah DAS Tondano, Sulawesi Utara (Gambar 1) dengan areal seluas 54.124 ha. Secara geografis DAS Tondano terletak diantara 125° 38' 64" BT dan 1° 27' 72" LU dengan 124° 45' 57", 24 BT dan 1° 6' 8", 28 LU. Berdasarkan wilayah administrasi pemerintahan wilayah DAS Tondano meliputi beberapa kabupaten/kota yaitu Kabupaten Minahasa, Minahasa Utara, Kota Manado, Kota Tomohon dan sebagian kecil wilayah hulu berada di Kabupaten Minahasa Tenggara.). Peta DAS Tondano dan pembagian sub-DAS dapat dilihat pada Gambar 1.

### 2.2. Data

Data yang dibutuhkan untuk analisis perubahan tutupan lahan adalah Data tutupan lahan hasil interpretasi citra satelit Landsat 7 ETM+ tahun 2002 dan Landsat 8 tahun 2015 (*post-classification land*

cover). Klasifikasi dilakukan dengan klasifikasi terbimbing menggunakan algoritma *maximum likelihood classification*. Analisis citra menggunakan software ERDAS Imagine. Metode ini diawali dengan pembuatan area contoh (piksel contoh) pada citra komposit untuk setiap tutupan lahan. Hasil uji akurasi Kappa pada citra hasil klasifikasi dengan metode *maximum likelihood classification* menunjukkan nilai akurasi yang cukup baik. Hasil klasifikasi citra tahun 2002 menunjukkan nilai akurasi Kappa sebesar 83 persen sedangkan pada citra tahun 2015 nilai Kappa sebesar 81 persen. Peta tutupan lahan tahun 2002 dan 2015 disajikan pada Gambar 2 dan 3.

### 2.3. Analisis Data

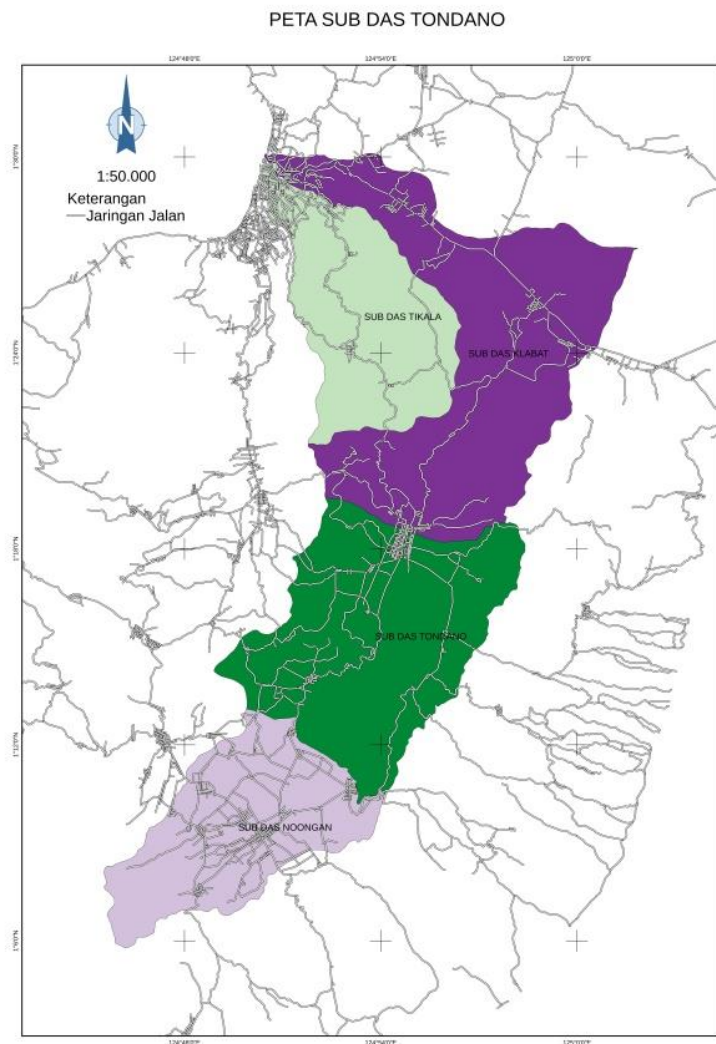
Deteksi perubahan tutupan lahan menggunakan metode paska klasifikasi (*post classification comparison* atau *delta classification*) merupakan ekstraksi perubahan informasi dari-ke (*from-to*) berupa informasi tematik atau kategorial yang didasarkan

overlay citra 2002 dan 2015 yang telah diklasifikasi/diinterpretasi (Jensen, 1996). Spatial Analyst ArcGIS 10.1 COMBINE digunakan untuk mendeteksi perubahan tutupan lahan di DAS Tondano dalam kurun waktu 13 tahun.

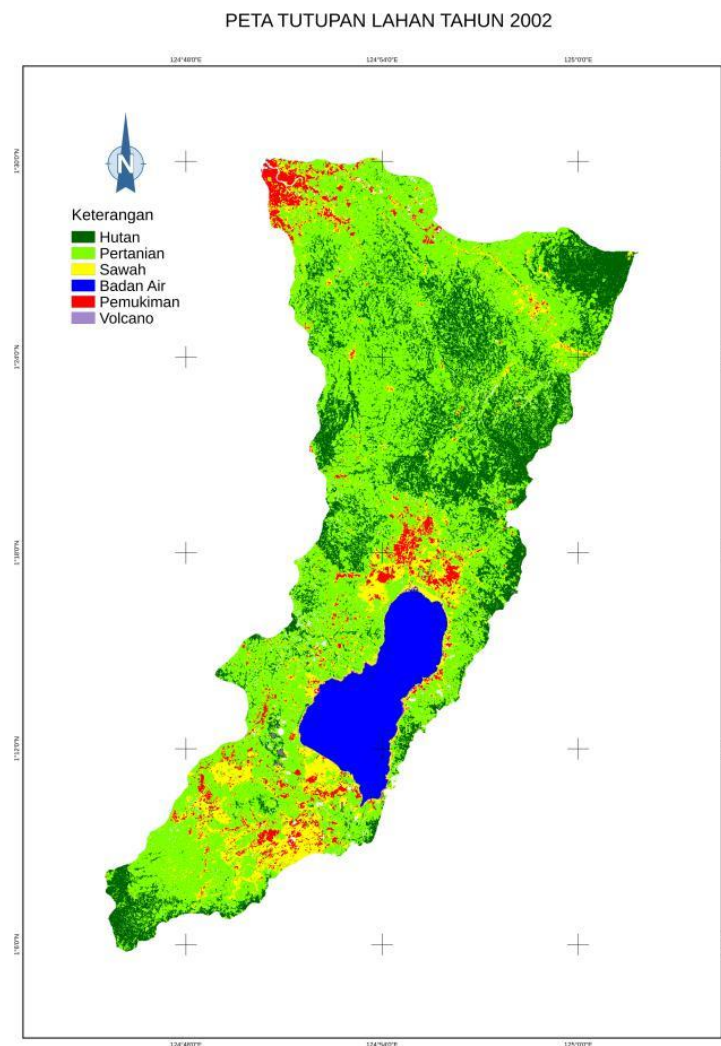
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Perubahan Tutupan Lahan 2002-2015

Klasifikasi citra menghasilkan enam tutupan lahan yaitu hutan, gunung berapi, badan air, lahan pertanian, sawah, dan pemukiman. Citra hasil klasifikasi selanjutnya akan dipotong (*subset*) menggunakan batas DAS Tondano sehingga didapatkan citra hasil klasifikasi yang sesuai dengan lokasi penelitian (Gambar 2 dan 3). Luas masing-masing tutupan lahan hasil klasifikasi citra Landsat tahun 2002 dan 2015 tersaji pada Tabel 1. Peta perubahan tutupan lahan 2002-2015 disajikan pada Gambar 4.



Gambar 1. Peta wilayah studi (DAS Tondano)



Gambar 2. Peta tutupan lahan DAS Tondano tahun 2002

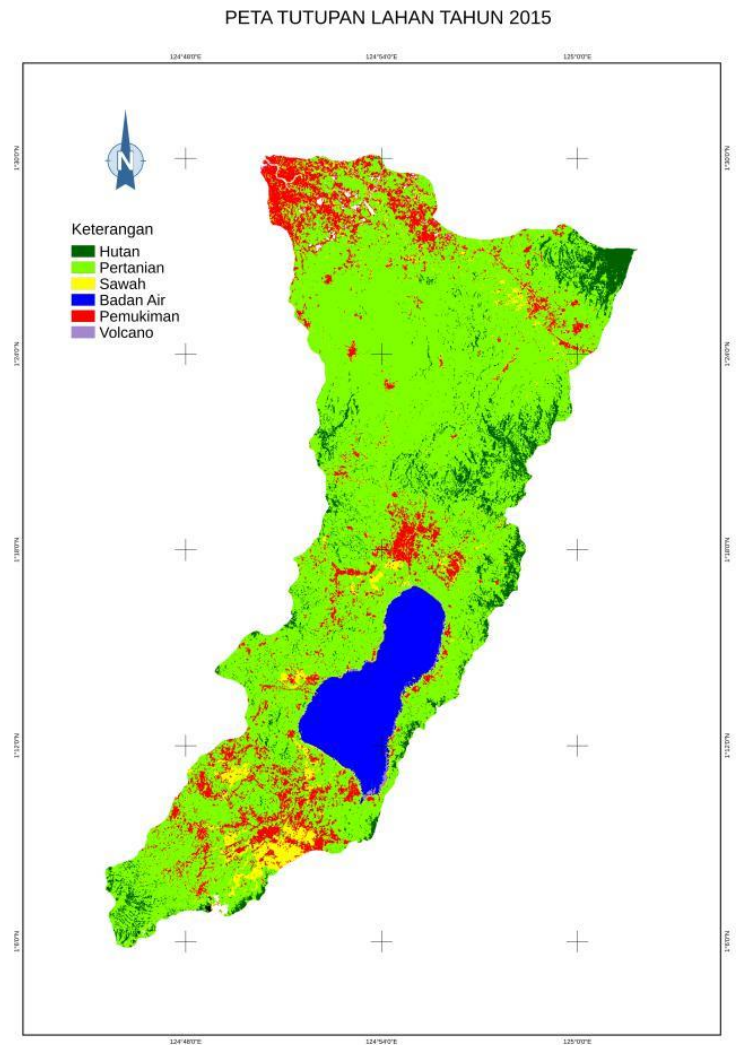
Tabel 1. Luas tutupan lahan citra hasil klasifikasi tahun 2002 dan 2015

ID Class	Tutupan Lahan	Tutupan Lahan Tahun (Ha)		Selisih Luas (Ha)
		2002	2015	
1	Hutan	10224.27	3714.57	-6509.70
2	Gunung berapi	102.42	102.42	0
3	Badan Air	4234.68	4229.28	-5.4
4	Pertanian	32092.38	37937.52	5845.14
5	Sawah	4896.09	1929.6	-2966.49
6	Pemukiman	1960.47	5596.92	3636.45

Berdasarkan hasil analisis perubahan dengan teknik *post classification comparison* menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 13 tahun terjadi perubahan tutupan lahan DAS Tondano yang signifikan di beberapa kelas tutupan lahan sebagai berikut:

#### a. Hutan

Tutupan lahan hutan berkurang seluas 6509.70 Ha (Tabel 1). Total hutan yang tersisa di wilayah DAS Tondano hanya berkisar 12% dari total luas DAS tersebut. Apabila dibandingkan dengan Undang-Undang Kehutanan nomor 41 tahun 1999 mensyaratkan tutupan hutan minimal pada suatu wilayah DAS adalah 30%, maka tutupan vegetasi wilayah DAS Tondano jauh di bawah 30%. Prosentase tutupan vegetasi hutan lebih kecil 30% menunjukkan bahwa telah terjadi degradasi hutan sehingga tutupan vegetasi hutan perlu ditingkatkan. Berkurangnya hutan disebabkan terjadinya konversi lahan hutan ke lahan pertanian (Tabel 2) yaitu sekitar 7000 Ha. Kerusakan hutan di wilayah DAS Tondano sangat beralasan karena sebagian besar penduduk di wilayah DAS tersebut termasuk Kabupaten Minahasa (wilayah hulu dan tengah DAS Tondano) bekerja sebagai petani sehingga mereka merambah hutan untuk dimanfaatkan sebagai areal pertanian untuk perkebunan.



Gambar 3. Peta tutupan lahan DAS Tondano tahun 2015

Tabel 2. Matriks perubahan tutupan lahan DAS Tondano periode tahun 2002-2015

Tutupan Lahan 2002	Tutupan Lahan 2015						
	Badan Air	Hutan	Pemukiman	Pertanian	Sawah	Gunung berapi	Grand Total
Hutan	0.72	3038.31	59.58	7068.51	57.15		10224.99
Badan Air	4111.11	0.63	1.8	50.31	70.83		4234.27
Pemukiman	46.71	0.81	1448.55	351.99	112.41		1960.47
Pertanian	2.43	657.81	2652.75	28187.01	592.38		32092.38
Sawah	68.31	17.01	1434.24	2279.7	1096.83		4896.09
Gunung berapi			-			102.42	102.42
Grand Total	4229.28	3714.57	5596.92	37937.52	1929.6	102.42	53510.31

Pada periode yang sama, terjadi perubahan lahan pertanian ke hutan juga terjadi dalam periode 13 tahun tersebut, walaupun dengan jumlah yang kecil sekitar 600an Ha. Perubahan tutupan lahan pertanian ke hutan, kemungkinan terjadi karena kegiatan hutan rakyat yaitu penanaman pohon berkayu di lahan pertanian atau kegiatan penghijauan lahan oleh masyarakat dan instansi terkait di lingkungan misalnya Kementerian Kehutanan. Penambahan luasan tutupan hutan sebesar

600 Ha tersebut menarik untuk dikritisi. Hal ini disebabkan karena seharusnya telah terjadi peningkatan luasan tutupan hutan yang cukup signifikan apabila Program Gerakan Nasional Rehabilitasi Hutan dan Lahan (GERHAN) dilaksanakan khususnya di wilayah DAS Tondano sejak tahun 2003an berhasil.

Tabel 2 menunjukkan adanya kontribusi perubahan tutupan lahan sawah dan badan air menjadi hutan. Hal ini mungkin disebabkan meningkatnya populasi

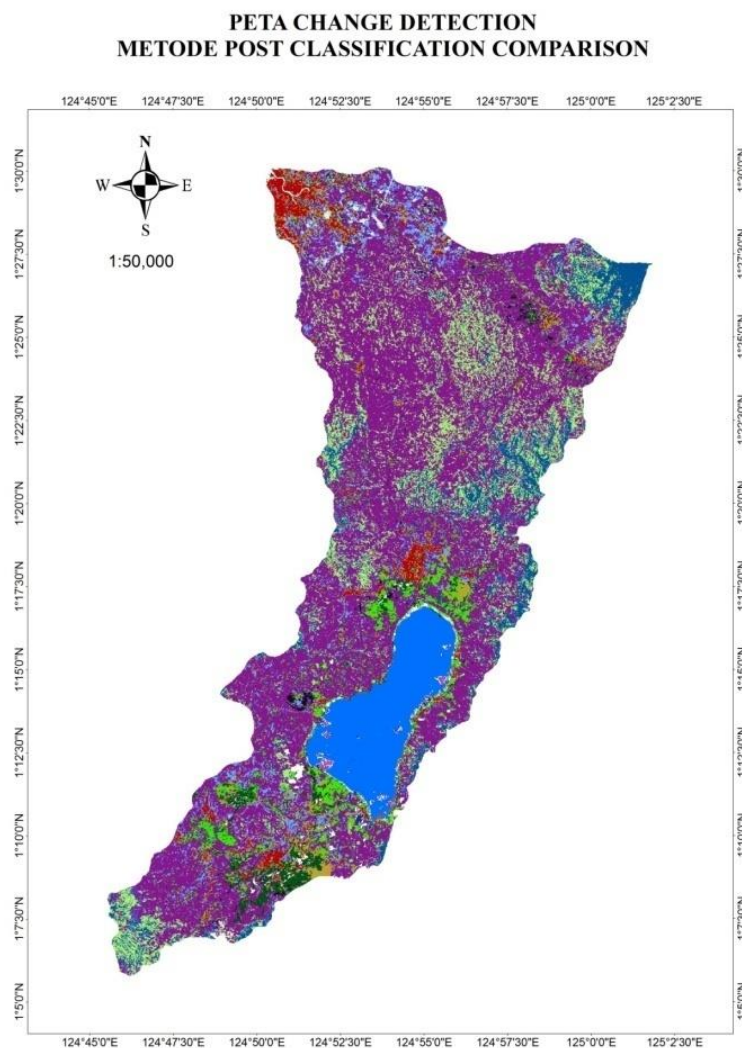


tanaman sagu (*Metroxylon sago*) atau nypa (*Nypha fruticans*) di pingiran danau Tondano atau di tengah-tengah lahan sawah sehingga spektral reflaktan menjadi mirip dengan hutan.

#### b. Pertanian

Tutupan lahan pertanian dalam kajian ini meliputi perkebunan, perkebunan campuran dan ladang. Dalam kurun waktu 13 tahun, terjadi peningkatan tutupan lahan pertanian yang cukup signifikan yaitu 5845.14 Ha (Tabel 1). Perubahan tersebut disebabkan oleh konversi lahan hutan ke lahan pertanian dan lahan

sawah ke lahan pertanian (ladang). Dalam kurun waktu tersebut terjadi juga konversi lahan pertanian (perkebunan dan perkebunan campuran) ke pemukiman yang cukup besar sekitar 2600 Ha. Tabel 2 menunjukkan bahwa kontribusi tutupan lahan pertanian di tahun 2015 ada yang berasal dari badan air. Hal ini dapat dijelaskan terutama untuk areal pertanian di sekeliling danau Tondano. Pendangkalan Danau Tondano akibat eceng gondok dan sedimentasi, menyebabkan pemanfaatan lahan di pinggir danau Tondano menjadi lahan pertanian kering sehingga terjadi penurunan luasan badan air (Danau Tondano).



Gambar 4. Peta hasil analisis perbandingan paska klasifikasi

Gambar 4 memperlihatkan perubahan tutupan lahan dari hutan ke pertanian dan pertanian ke pemukiman di wilayah DAS Tondano. Perubahan tutupan lahan ini berkontribusi terhadap bencana longsor dan banjir bandang di wilayah Minahasa dan Manado di awal tahun 2014 selain faktor alam akibat intensitas hujan yang tinggi. Salah satu lokasi terparah kejadian banjir dan longsor terdapat di wilayah Sub DAS Tikala (sisi Barat wilayah tengah dan hulu DAS Tondano, Gambar 5). Apabila dilihat dari perubahan tutupan lahan tahun 2002 dan 2015, terjadi perubahan yang cukup

signifikan yaitu berubahnya tutupan hutan menjadi lahan pertanian. Oleh karena itu, ketika intensitas hujan tinggi, wilayah tangkapan air di Sub DAS Tikala tidak mampu berfungsi dengan baik sehingga sungai Tikala meluap menyebabkan banjir di Kota Manado.

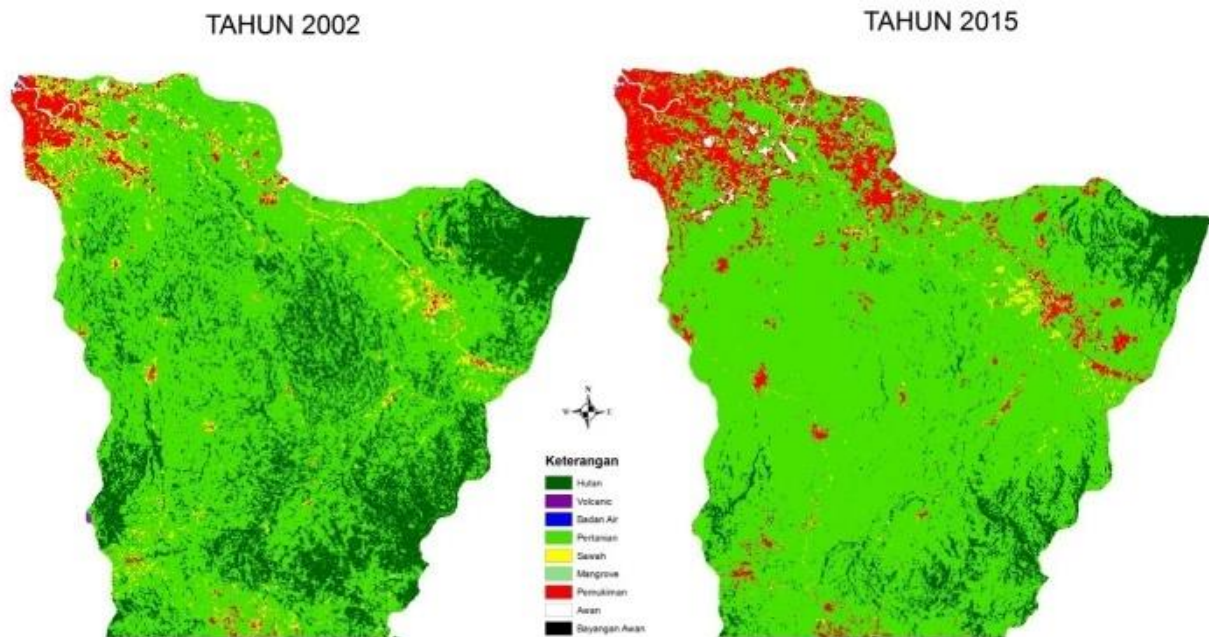
#### c. Pemukiman

Tutupan lahan pemukiman bertambah dari 1960.47 Ha (2002) ke 5596.92 Ha (2015), bertambah 3636.45 Ha (Tabel 1). Bertambahnya lahan pemukiman di wilayah DAS Tondano dalam kurun waktu 13 tahun

disebabkan karena terjadinya konversi lahan pertanian (perkebunan dan perkebunan campuran) dan lahan sawah ke pemukiman terutama terjadi di wilayah pinggiran Kota Manado berbatasan dengan Kabupaten Minahasa dan Kabupaten Minahasa Utara. Peningkatan jumlah penduduk di wilayah perkotaan dan urbanisasi menyebabkan peningkatan kebutuhan tempat tinggal di wilayah kota dan pinggiran kota besar, misalnya Kota

Manado. Oleh karena itu, pembangunan pemukiman tidak terelakan.

Tabel 2 menunjukkan adanya perubahan tutupan badan air menjadi pemukiman di tahun 2015. Hal ini kemungkinan terjadi karena dalam kurun waktu 2012-2015 tersebut, terjadi peningkatan jumlah restoran dan rumah di pinggiran danau Tondano. Perubahan tutupan lahan tersebut terekam dalam citra satelit yang diambil pada tahun 2015.



Gambar 5. Tutupan lahan di wilayah Tengah dan Hilir DAS Tondano

#### d. Lahan Sawah

Tabel 1 menunjukkan terjadi perubahan tutupan lahan sawah yang cukup signifikan dimana terjadi penurunan luasan sebesar 2966.49 ha dalam kurun waktu 13 tahun. Penurunan luasan tersebut disebabkan karena konversi lahan sawah menjadi lahan pemukiman seluas 1434.24 ha dan lahan pertanian seluas 2279.7 ha. Dalam kurun waktu yang sama terjadi juga konversi lahan pertanian ke lahan sawah walaupun dengan luasan lebih kecil sekitar 592 ha. Di Tabel 2 menunjukkan terjadi penambahan luasan sawah yang berasal dari badan air. Hal ini mungkin disebabkan terjadi penurunan luasan badan air/danau Tondano dengan meningkatnya luasan sawah di sekitar danau tersebut. Pendangkalan danau Tondano menyebabkan terjadinya konversi lahan menjadi sawah. Selain itu, spectral reflektan badan air mirip dengan sawah ketika masih di-genangi air.

Di Tabel 2 menunjukkan penambahan luasan lahan sawah di tahun 2015 yang berasal dari lahan pemukiman. Data tersebut menunjukkan adanya error/deviasi dalam analisis interpretasi citra menggunakan metode *maximum likelihood*. Kemungkinan besar, lahan tersebut adalah lahan sawah yang baru dipanen sehingga menjadi lahan kosong.

#### e. Gunung berapi

Di wilayah DAS Tondano terdapat 2 Gunung Berapi yaitu Gunung Soputan dan Gunung Mahawu. Hasil analisis menunjukkan perubahan tutupan lahan gunung berapi tidak mengalami perubahan, tahun 2012 luasan 102.42 ha menjadi 102.42 ha di tahun 2015.

#### f. Badan air

Di wilayah hulu DAS Tondano terdapat Danau Tondano. Oleh karena itu, sebagian besar tutupan badan air diwakili oleh Danau Tondano. Hasil analisis menunjukkan perubahan tutupan badan air tidak mengalami perubahan yang signifikan hanya sekitar 1,8 ha (Tabel 1). Luasan tutupan badan air di tahun 2012 4234.68 ha menjadi 4229.28 ha. Kontribusi terbesar perubahan luasan tutupan badan air berasal dari sawah dan pemukiman. Hal ini disebabkan karena spektral reflektan badan air memiliki kemiripan spektral dengan sawah dan pemukiman.

Deteksi perubahan tutupan lahan menggunakan dengan data bersumber dari teknik klasifikasi digital (klasifikasi *maximum likelihood*) dapat mendeteksi perubahan lahan dengan cepat dan cukup akurat. Namun, hasil penelitian ini menemukan adanya kekurangan berupa kesalahan klasifikasi (*miss-classification*). Hal ini dapat disebabkan oleh fenomena *salt and pepper* yaitu jika piksel berada di luar area spesifik atau diantara area yang tumpang tindih

(memiliki kemiripan) ketika proses klasifikasi berlangsung (Whiteside dan Ahmad 2005; Duro *et al.*, 2012). Faktor lain yang menyebabkan terjadinya kesalahan klasifikasi adalah kualitas citra, keterwakilan area contoh dan faktor radiometrik citra dengan kondisi tutupan lahan (Castila dan Hay, 2007).

### 3.2. Pentingnya Perubahan Tutupan Lahan Untuk pengelolaan DAS Tondano

Ekosistem DAS Tondano memiliki peranan yang sangat vital, dilihat dari aspek ekologi, ekonomi. Danau Tondano yang merupakan sub-sistem DAS Tondano menjadi sumber energi pembangkit tenaga listrik yang bernilai sejarah, karena dari PLTA tersebut masyarakat Minahasa mulai mengenal penerangan dengan listrik. Selain itu, PLTA Tanggari memiliki nilai monumental yang dibangun oleh Pemerintah Jepang pada tahun 1950 dengan kapasitas 4.440 kW. Pengembangan PLTA di Sungai Tondano terus dilakukan dengan pengembangan PLTA Tanggari I dan Tanggari II hingga total daya yang terpasang dalam memanfaatkan energi Sungai Tondano sekitar 51.000 kW. Pembangunan PLTA Sawangan 2x8 MW sedang dilaksanakan untuk meningkatkan ketersediaan energi listrik di Provinsi Sulawesi Utara. Masalah yang terkait dengan upaya peningkatan kapasitas pemanfaatan Sungai Tondano adalah penurunan debit air yang signifikan pada musim-musim kemarau, yang pada akhirnya mempengaruhi kapasitas PLTA tersebut. Selain sebagai sumber energi pembangkit tenaga listrik, Sungai Tondano juga dimanfaatkan untuk mensuplai air minum bagi masyarakat Manado dan sebagian Minahasa. Demikian juga bila dilihat dari aspek perikanan air tawar, berdasarkan hasil perkiraan potensi perikanan di Danau Tondano berkisar antara 60 – 180 kg/ha/tahun serta berperan dalam menyediakan air bagi daerah irigasi yang tersebar di wilayah kecamatan Tomposo, Langowan, Kakas, Remboken dan Kecamatan Tondano Barat dan Timur.

Wilayah hulu DAS Tondano atau ke-empat Sub DAS Tondano (Tikala, Klabat, Tondano, dan Noongan) berfungsi sebagai wilayah tangkapan air (*catchment area*). Selain hutan, sebagian besar wilayah hulu DAS Tondano adalah lahan pertanian, berkontribusi bagi perekonomian lokal dua kabupaten di Provinsi Sulut. Terganggunya fungsi ekologis *catchment area* tersebut menyebabkan ketidakseimbangan fungsi ekosistem hutan bagi lingkungan. Adopsi budidaya pertanian di wilayah berlereng yang tidak memperhatikan kaidah konservasi tanah dan air meningkatkan risiko bencana dan kegagalan panen bagi petani. Ketika *catchment area* tersebut berubah fungsinya menjadi lahan pertanian, risiko terjadinya erosi, longsor dan banjir di musim hujan meningkat. Keberlanjutan kegiatan pertanian bagi petani dan penduduk yang menggantungkan hidupnya di bidang pertanian akan terganggu. Penduduk yang bermukim di wilayah hilir DAS Tondano akan menerima dampak akibat kerusakan lingkungan di wilayah hulu DAS Tondano.

Informasi perubahan tutupan lahan yang *up-to date* ini dibutuhkan untuk para pengambil kebijakan atau pemangku kepentingan untuk memperbaiki pengelolaan sumber daya pertanian dan kehutanan menuju pengelolaan yang berkelanjutan bagi generasi mendatang. Upaya perbaikan dan peningkatan kondisi tutupan vegetasi hutan dan adopsi metode pertanian konservasi perlu dilakukan untuk menjaga keseimbangan ekosistem DAS Tondano dan keberlanjutan fungsi ekologis DAS Tondano.

## 4. Kesimpulan

Dalam kurun waktu 13 tahun terjadi pengurangan luasan hutan (-6510.42 ha), sawah (-2975.13 ha) dan gunung berapi (-3.96 ha); peningkatan luasan lahan pertanian (5836.86 ha), pemukiman (3650.85 ha), badan air (1.8 ha). Konversi lahan hutan umumnya ke lahan pertanian kering dan konversi sawah ke lahan pertanian dan pemukiman. Peningkatan luasan lahan pemukiman disebabkan konversi lahan pertanian dan sawah terutama terjadi di pinggiran kota Manado. Informasi perubahan tutupan lahan *up-to-date* di wilayah DAS Tondano ini merupakan peringatan atau 'alert' bagi pemangku kepentingan di tingkat provinsi dan kabupaten/kota untuk memperbaiki pengelolaan DAS Tondano. Upaya yang perlu dilakukan antara lain memperbaiki kondisi tutupan vegetasi hutan; dan adopsi metode pertanian konservasi.

## Daftar Pustaka

- [1] Castila, G., G. J. Hay, G. 2007. Uncertainties in land use data. *Hydrology and Earth System Sciences*. 11, pp. 1857–1868.
- [2] Duro, D.C., S. E. Franklin, dan M. G. Dubé, 2012. A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. *Remote Sensing of Environment*. 118, pp. 259-272.
- [3] El-Hattab, M.M., 2016. Applying post classification change detection technique to monitor an Egyptian coastal zone (Abu Qir Bay). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 19, pp. 23-36.
- [4] FAO, 2007a. Forest monitoring and assessment for climate change reporting: partnership, capacity building and delivery. *Forest Resources Assessment*. Working Papers. 142. Rome.
- [5] FAO, 2007b. Global Forest Resources Assessment 2010. Working Papers 141. Rome.
- [6] Hakan, A. *et al.*, 2009. Post-classification comparison of land cover using multitemporal Landsat and ASTER imagery: the case of Kahramanmaraş, Turkey. *Environ Monit Assess*. 151, pp. 327–336.
- [7] Hegazy, I., M. Kaloop, 2015. Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 4(1), pp. 117–124.
- [8] Jensen, J. R., 2007. *Remote Sensing of the Environment*. Second Edition Pearson Prentice Hall.
- [9] Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., 2015. *Remote sensing and image interpretation*. 7<sup>th</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- [10] Lu, D. *et al.*, 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 25(12), pp. 2365 – 2407.
- [11] Peiman, R. 2011. Pre-classification and post-classification change-detection techniques to monitor land-cover and land-use change using multi-temporal Landsat imagery: a case



- study on Pisa Province in Italy. *International Journal of Remote Sensing* 32(15), pp 4365-4381.
- [12] Prenzel, B. P. Treitz, dan E. LeDrew, 2006. Remote sensing for environmental monitoring and management: A case study of Tondano Watershed. Dalam T. Babcock, S. Wismer and B. Nurkin (Editors). *From sky to sea. Environment and Development in Sulawesi*. Department of Geography, University of Waterloo, Waterloo, Canada.
- [13] Rotinsulu, W., H. Walangitan, 2015. Analisis Perubahan Tutupan Lahan DAS Tondano dan DAS Likupang Di Sulawesi Utara Dengan Metode Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. *Laporan Hasil Penelitian RUU Unsrat Tahun 2015*.
- [14] Shalaby, A., R. Tateishi, 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*. 27(1), pp. 28–41.
- [15] Whiteside, T., W. Ahmad, 2005. A comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for mapping land cover in Northern Australia. *Proceedings of SSC2005 Spatial intelligence, innovation and praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute*, September 2005. Melbourne: Spatial Sciences Institute.
- [16] Wijaya, N., 2015. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*. 2(2), pp. 82-92.